城郭石垣及び石積擁壁の耐震診断・補強に関する研究小委員会

2022年度活動報告および2023年度活動計画

委員長:国士舘大学理工学部　橋本　隆雄

研究小委員会組織及び活動概要

◆ 委員長：橋本隆雄（国士舘大学）◆ 副委員長：宮島昌克（金沢大学）
◆ 幹事長：池本敏和（金沢大学）
◆ 副幹事長：前田和徳（岡部㈱）・岩津雅也（フリー工業㈱）
◆オブザーバー：文化庁文化資源活用課震災対策部門　文化財調査官他
◆ 委員数：32名（2022年4月27日時点）
◆ 期　間：2022年4月～2025年3月（3年0ヶ月）

◆活動概要
城郭石垣及び石積擁壁の研究者及び技術者を集めて、過去（熊本城や仙台城等）の崩壊履歴も含めた大規模な崩壊跡の現場調査から崩壊メカニズムを把握し、調査（探査）・実験・解析により具体的な耐震診断方法及び耐震補強対策の策定を行う．ＷＧは調査（探査），実験，解析，施工の4つあり，委員会で情報交換しながら活動している．

2022年度の活動（1）

1)　委員会・WG活動等
・第1回WG：4月13日　検証試験　8名参加（石垣背面に関する検討）
・第1回委員会：4月16日　オンライン(Zoom)　34名参加（本年度事業計画）
・第2回WG：4月25日　オンライン(Zoom)　3名参加（小峰城地盤解析に関する検討）
・第3回WG：5月6日　オンライン(Zoom)　3名参加（小峰城地盤解析に関する検討）
・第4回WG：5月16､17日　オンライン(Zoom)　3名参加（小峰城地盤解析に関する検討）
・第5回WG：5月20日　岡山県矢掛町石垣現地検証、打合せ　9名参加（岡山県矢掛町石垣耐震補強検討）
・第6回WG：6月9日　オンライン(Zoom)　3名参加（小峰城地盤解析に関する検討）
・第7回WG：6月10日　金沢城調査　15名参加（現地調査および打合せ）
・第8回WG：6月13日　オンライン(Zoom)　8名参加（矢掛町、横浜ブラフ補強検討）
・第9回WG：6月23日　オンライン(Zoom)　10名参加（横浜ブラフ擁壁補強検討）

2022年度の活動（2）

・第10回WG：7月3日　オンライン(Zoom)　7名参加（横浜ブラフ擁壁補強検討）
・第11回WG：7月7日　オンライン(Zoom)　3名参加（小峰城地盤解析に関する検討）
・第12回WG：7月13日　施工実験　12名参加（岡山県矢掛町補強施工実験）
・第13回WG：7月25､26日　オンライン(Zoom)　3名参加（小峰城地盤解析に関する検討）
・第14回WG：7月28日　引抜実験　15名参加（岡山県矢掛町補強施工後引抜実験）
・第15回WG：8月3日　オンライン(Zoom)　3名参加（小峰城地盤解析に関する検討）
・第16回WG：8月8日　オンライン(Zoom)　3名参加（小峰城地盤解析に関する検討）
・第17回WG：8月22日　オンライン(Zoom)　3名参加（小峰城地盤解析に関する検討）
・第18回WG：8月23日　浜松城・花沢地区台風被害調査　6名参加（台風14,15号被災状況調査）
・第19回WG：8月30日　オンライン(Zoom)　8名参加（岡山県矢掛町補強対策検討）

2022年度の活動(3)

・第20回WG：8月29､30日　オンライン(Zoom)　3名参加（小峰城地盤解析に関する検討）
・第21回WG：9月21日　施工実験　8名参加（岡山県矢掛町補強対策）
・第22回WG：9月12､13日　オンライン(Zoom)　3名参加（小峰城地盤解析に関する検討）
・第23回WG：9月16日　オンライン(Zoom)　3名参加（小峰城地盤解析に関する検討）
・第24回WG：9月20日　オンライン(Zoom)　3名参加（小峰城地盤解析に関する検討）
・第25回WG：10月17日　静岡県焼津市　6名参加（台風14,15号被災状況調査）
・第26回WG：10月20日　引抜実験　8名参加（岡山県矢掛町補強対策）
・第27回WG：10月21日　充填状況検証6名参加（岡山県矢掛町補強対策）
・第28回WG：11月1日　オンライン(Zoom)　3名参加（小峰城地盤解析に関する検討）
・第29回WG：11月9～11日　金沢大学振動実験オンライン併用　10名参加　（伝建地区対応）

5

2022年度の活動(4)

・第30回WG：12月16日　オンライン(Zoom)　6名参加　（横浜ブラフ施工に関する検討）
・第31回WG：12月20日　オンライン(Zoom)　5名参加　（横浜ブラフに関する対応）
・第32回WG：12月26日　オンライン(Zoom)　併用　6名参加　（岡山矢掛町に関する対応）
・第33回WG：1月23日　オンライン(Zoom)　6名参加　（岡山矢掛町に関する対応）
・第34回WG：2月3日　岡山県矢掛町説明会　8名参加　（岡山矢掛町に関する対応）
・第35回WG：2月13日　神奈川県横浜市　12名参加　（横浜ブラフに関する対応）
・第36回WG：2月21日　施工実験　12名参加　（岡山矢掛町施工に関する検討）
・第37回WG：2月26日　静岡県焼津市花沢地区住民説明会　8名参加　（花沢地区耐震補強説明会）
・第38回WG：3月28日　施工実験　オンライン併用　7名参加　（岡山矢掛町に関する対応）

6

2022年度の活動(5)

2)　行事等（オンラインを含む）
行事名：金沢城現地調査
開催時期：2022年6月10日、開催場所：**金沢城管理センター**
行事名：静岡県焼津市花沢地区石垣補強対策住民説明会
開催時期：2023年2月26日、開催場所：**静岡県焼津市花沢地区集落センター**
3)　出版物等
土木学会論文集A1（構造・地震工学）等投稿
4)　小委員会活動補助費決算報告
　　省略

7

横浜市山手地区ブラフ擁壁の変状調査及び振動台模型実験

国士舘大学　○橋本 隆雄
練馬区　恩田 敦史
新座市　小山 悠
金沢大学　池本 敏和
日測　石作 克也
岡部　前田 和徳

2022年5月横浜市中区打越のブラフ擁壁の崩壊

◆2022年5月1日午前2時20分に神奈川県横浜市中区打越地区の一部で豪雨によりブラフ擁壁が崩壊したため高さ10m、幅10m、奥行き3mの土砂流出が発生し、土砂災害警戒のため付近に住む8世帯19人に警戒レベル4にあたる避難指示を出した。

横浜市山手地区のブラフ擁壁

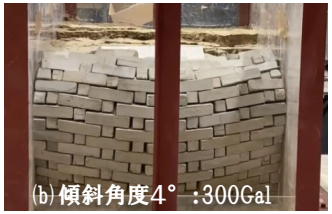
◆ブラフ擁壁とは，長さ70~80cm，20cm角程度の石材長手面と小口面とを交互に見せる積み方である。

(a) 港の見える丘公園

(b) 山手133番館

ブラフ擁壁の崩壊

(a) 傾斜角度0°：250Gal



(b) 傾斜角度4°：300Gal

(c) 傾斜角度12°：500Gal

(a) Wブラフ:350Gal

(b) Wブラフ補強:350Gal

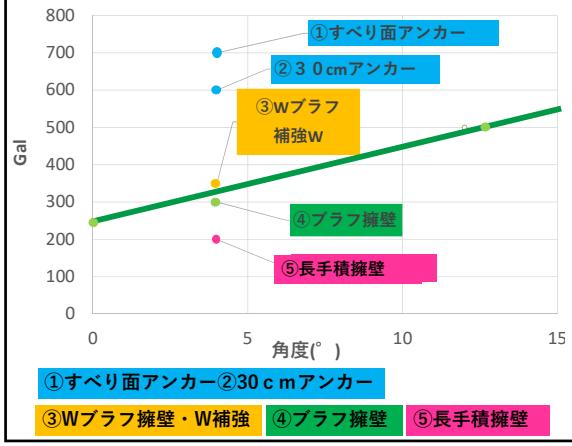
(c) 長手積:200Gal

ブラフ擁壁アンカー補強(4°)の崩壊

(a) アンカー l=30cm:600Gal

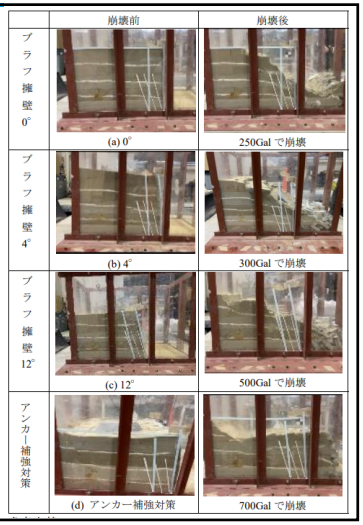
(b) アンカー l=25~60cm:750Gal

崩壊Gal数と擁壁傾斜の関係



①すべり面アンカー②30ｃｍアンカー

③Wブラフ擁壁・W補強　④ブラフ擁壁　⑤長手積擁壁

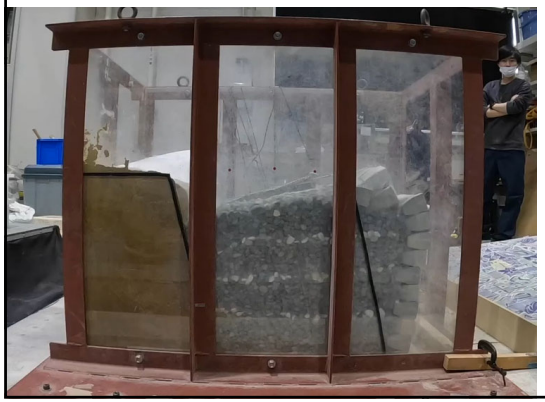


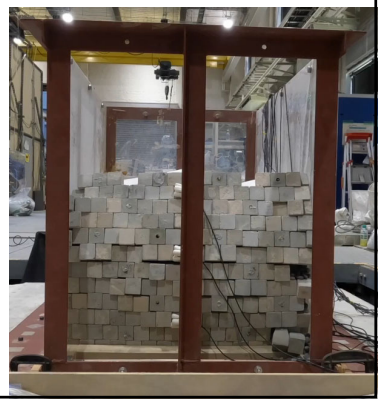
石垣･石積み構造物の安定性及び補強技術の効果に関する模型振動台実験

文化財石垣・石積擁壁補強技術協会　岩佐 直人
金沢大学　西山 大貴
金沢大学　池本 敏和
日鉄建材株式会社　堀 謙吾
国士舘大学　橋本 隆雄

Case3-2 ウレタン(1.2m*1.2m)×補強材(長さ2.0m 1.2m*1.2m)

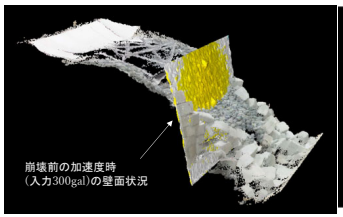
完全に崩壊に至らず対策していないブロックが落ちた　崩壊加速度：900gal

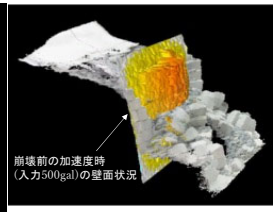


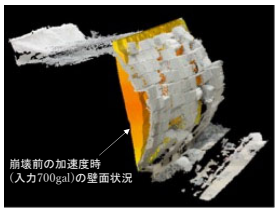


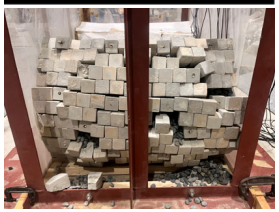
崩壊前及び崩壊加速度時における石積み擁壁の状況

(a) 無対策（崩壊）　(b) ウレタン充填のみCase-B3（崩壊）　(c) ウレタン充填と補強土工併用





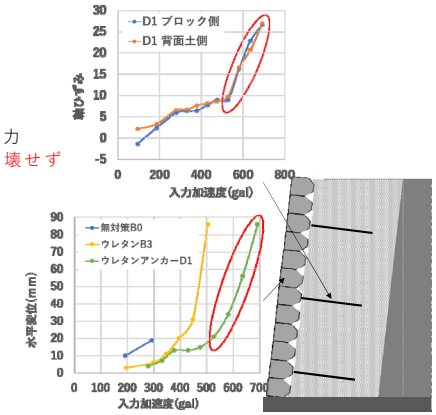




・　アンカー挿入効果

550gal ～700gal
D1の水平変位・軸歪み
→ 急勾配

▷ アンカーが背面に引く力
変位は大きいものの崩壊せず



17

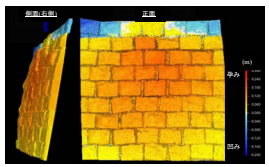
石積み擁壁の地震時挙動をFEMにより再現する試み

○群馬大学　須藤皓介
(株)地震工学研究所　渡邉泰介
群馬大学　若井明彦
国士舘大学　橋本隆雄
金沢大学　宮島昌克
金沢大学　池本敏和

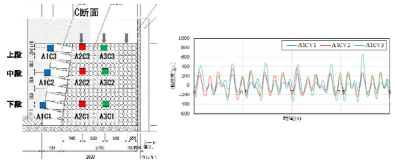
振動台実験

大型振動台施設と熊本城の城壁材料を用いた補強工を有する城壁の振動台実験

振動台実験の様子

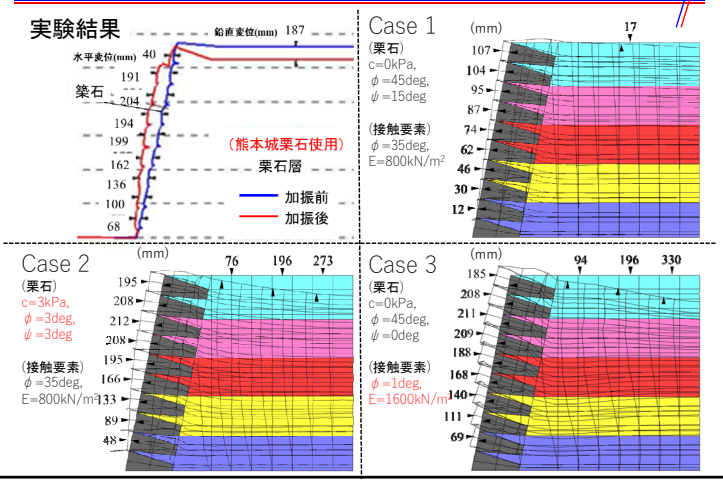


加振前後の変状図

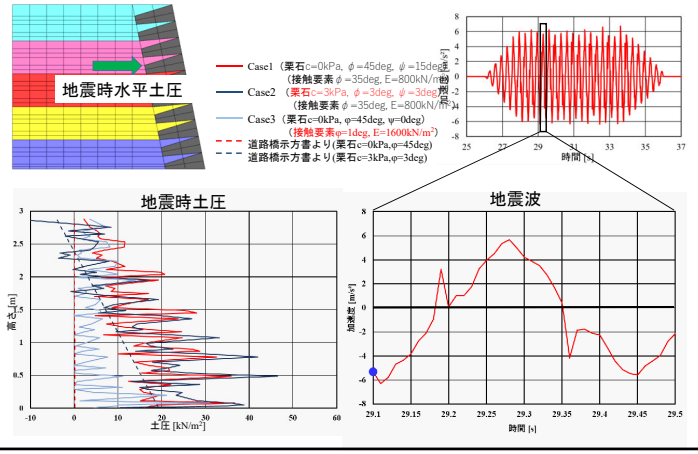


加振中のそれぞれの位置での加速度

全地震波加振後の変形図



地震時土圧


地震時水平土圧
Case1（栗石c=0kPa, φ=45deg, ψ=15deg）
（接触要素φ=35deg, E=800kN/m³）
Case2 （栗石c=3kPa, φ=3deg, ψ=3deg）
（接触要素φ=35deg, E=800kN/m³）
Case3（栗石c=0kPa, φ=45deg, ψ=0deg）
（接触要素φ=1deg, E=1600kN/m²）
道路橋示方書より(栗石c=0kPa,φ=45deg)
道路橋示方書より(栗石c=3kPa,φ=3deg)
地震波
加速度 [m/s²]
時間 [s]
地震時土圧
高さ [m]
土圧 [kN/m²]

ご清聴ありがとうございました。
22